

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Vedran Kolarek

Zagreb, 2014

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Gojko Marić

Student:

Vedran Kolarek

Zagreb, 2014

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Ovom prilikom bih želio zahvaliti:

Voditelju rada prof.dr.sc. Gojku Mariću na stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade završnog rada.

Posebno bih želio zahvaliti svojim roditeljima na potpori i pomoći tijekom cijelog studiranja.

Vedran Kolarek



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum: 7. 02. 2014	Prilog
Klasa: 602-04/14-612	
Urbroj: 15-1703-14-65	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Vedran Kolarek

Mat. br.: 0035180267

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

IZRADA UREĐAJA ZA UTVRĐIVANJE TROŠENJA OBLOGA
KOČNICA

Naslov rada na
engleskom jeziku:

DESIGN OF DEVICE FOR TESTING BRAKE BAND WEAR

Opis zadatka:

Kočnice su uređaj za usporavanje odnosno potpuno zaustavljanje vozila ili drugog pokretnog tijela. Najčešće se izrađuju tako da trenjem proizvode silu kočenja. Kočnice trenjem sastoje se od dva osnovna elementa: pokretnog elementa glatke površine (za rotacijska gibanja to je disk ili bubanj), te obloge kočnice koja se prislanja i pritišće na pokretni element. Dakle postoji tribočki par disk – obloga kočnica, između kojih dolazi do relativnog gibanja, savladavajući pri tome silu trenja. Prihikom savladavanja silu trenja dolazi do trošenja članova tribo para u dodiru.

Pristupnik će u radu:

- analizirati mehanizam trošenja koji se pojavljuje u ovom tribo paru,
- izraditi uređaj za ispitivanje trošenja obloga kočnica,
- ispitati nekoliko uzoraka obloga kočnica različitih proizvođača.

Analizirati rezultate i dati zaključak

Zadatak zadao:

11. studenog 2013.

Zadatak zadao:


Izv. prof. dr. sc. Gojko Marić

Rok predaje rada:

1. rok: 21. veljače 2014.


2. rok: 12. rujna 2014.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 3., 4. i 5. ožujka 2014.

2. rok: 22., 23. i 24. rujna 2014.

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Zoran Kumica

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	III
POPIS OZNAKA.....	IV
SAŽETAK	V
SUMMARY	VI
1. Uvod	1
2. Mehanizam trošenja koji se pojavljuje kod kočenja	2
2.1. Trenje.....	2
2.3. Trošenje	4
2.4. Adhezija	4
2.5. Otpornost na adhezijsko trošenje	5
3. Cilj rada.....	8
4. Izrada uređaja za ispitivanje trošenja obloga kočnica.....	9
4.1. Proučavanje i pretraživanje da li postoji već takav ili sličan uređaj	9
4.2. Koraci u izradi uređaja za ispitivanje trošenja obloga	10
4.3. Karakteristike i mogućnosti uređaja.....	20
5. Eksperimentalni dio	21
6. Zaključak.....	25
LITERATURA.....	26
PRILOZI	27

POPIS SLIKA

Slika 1. Disk i kočna obloga [4]	2
Slika 2. Djelovanje sile trenja [2].....	3
Slika 3. Jedinični događaj adhezije [1].....	4
Slika 4. Rabinowitz-ova karta tribološke kompatibilnosti [1]	5
Slika 5. Tribološka kompatibilnost na osnovi kristalne strukture [1]	6
Slika 6. Opći oblik procesa trošenja [2]	7
Slika 7. Proizvod tvrtke "Link Engineering" [5]	10
Slika 8. Skica uređaja za ispitivanje trošenja kočnih obloga.....	11
Slika 9. Izrada priрубnice na tokarskom stroju	12
Slika 10. Priрубnica povezana s elektromotorom i diskom (pogled straga).....	13
Slika 11. Priрубnica povezana s elektromotorom i diskom (pogled sprijeda)	13
Slika 12. Bušenje rupa na nosaču elektromotora	14
Slika 13. Zavarivanje nosača elektromotora i vodicice	15
Slika 14. Vodicica i nosač kočne obloge	15
Slika 15. Nosač elektromotora i vodicice te oslonac za polugu.....	16
Slika 16. Poluga preko koje se pritišće kočna obloga.....	17
Slika 17. Kočna obloga	18
Slika 18. Rezanje uzoraka	18
Slika 19. Uređaj za ispitivanje kočnih obloga	19
Slika 20. Konačna izvedba uređaja za ispitivanje trošenja kočnih obloga.....	19
Slika 21. Uzorci na kojima je provedeno ispitivanje	21
Slika 22. Precizna vaga za mjerenje mase uzoraka	21
Slika 23. Dijagram gubitka mase uzorka 1.....	23
Slika 24. Dijagram gubitka mase uzorka 2.....	23
Slika 25. Dijagram gubitka mase uzorka 3.....	24
Slika 26. Paralelni prikaz gubitka mase kod svih uzoraka	24

POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristike uređaja	9
Tablica 2. Rezultati nakon ispitivanja trošenja kočnih obloga.....	22

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
F	N	vučna sila
F_{tr}	N	sila trenja
G	N	sila teža
F_N	N	normalna sila
μ		koefficient trenja
v	m/s	brzina
ΔV	mm ³	promjena volumena
t	h	vrijeme
m	kg	masa
g	m/s ²	akceleracija slobodnog pada
M	Nm	moment sile
r	m	udaljenost pravca djelovanja sile od oslonca

SAŽETAK

Tema završnog rada je „Izrada uređaja za utvrđivanje trošenja obloga kočnica“. Rad se bavi problemima trenja i trošenja te je provedeno ispitivanje trošenja kočnih obloga na uređaju vlastite izvedbe. Ispitivana su tri uzorka kočnih obloga. Trošenje se mjerilo gubitkom mase nakon provedenog ispitivanja.

Ključne riječi: trenje, trošenje, kočne obloge

SUMMARY

The subject of my final work is "Design of device for testing brakeband wear". The work is about problems of friction and wearing, and testing of brake pads wear had been made on a device of my own design. Testing was made on three samples of brake pads. Wear was measured by loss of weight after testing.

Keywords : wear, friction, brake pads

1. Uvod

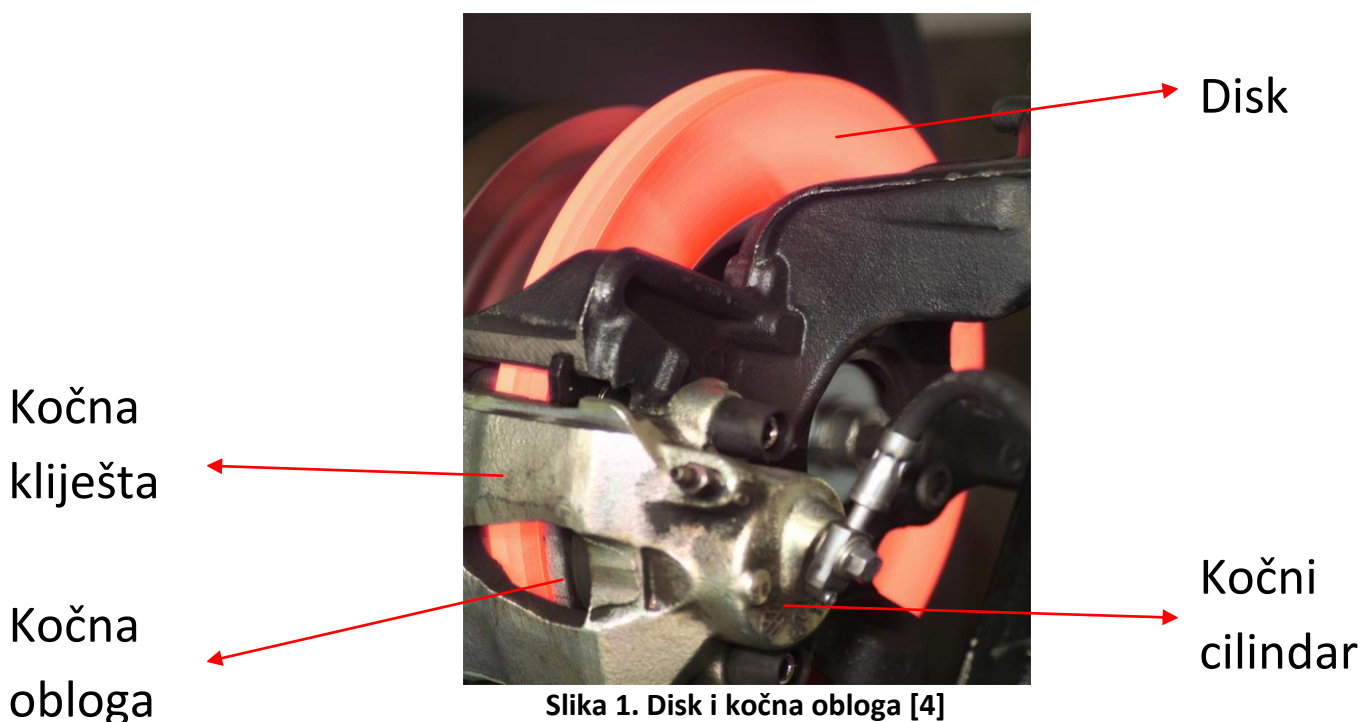
Ljudi su od davnina težili da se vozila što brže kreću kako bi se što manje vremena potratilo na putovanje, a da bi vozila usporila ili se zaustavila razvijen je sustav kočenja. Kako su se razvijale što jače i brže pogonske jedinice tako su i sustavi kočenja napredovali. Kočnice usporavaju ili zaustavljaju vozilo tako da trenjem stvaraju silu kočenja te su jedan od najvažnijih sustava na vozilima. Dva su osnovna elementa sustava kočenja kod vozila, a to su disk ili bubanj i kočne obloge ili disk pločice. Disk ili bubanj su rotirajući dijelovi, a kočne obloge ili disk pločice se prislanjaju i pritišću rotirajuće dijelove te pomoću trenja stvaraju silu kočenja potrebnu da se vozilo zaustavi. Kočnice se mogu aktivirati hidrauličnim, pneumatskim, mehaničkim ili električnim putem. Glavne zadaće kočnica na vozilima su zaustaviti vozilo na što je moguće kraćem putu, održavati stabilnu putanju pri kočenju, pouzdano držati parkirano vozilo na uzbrdici te održavati jednako efikasno kočenje i pri dugotrajnom intenzivnom kočenju. Na svakom vozilu postoji više vrsta kočnica pa tako imamo radnu, parkirnu i pomoćnu kočnicu, a još postoje automatska kočnica i usporivač (retarder) kod teretnih vozila te naletna kočnica kod manjih prikolica. Znanstveno-stručna disciplina koja se sveobuhvatno bavi problemima trenja i trošenja naziva se tribologija [1]. Disk – kočna obloga čine tribološki par, a prilikom savladavanja sile trenja dolazi do trošenja članova tribološkog para. Naime, kada se površine dodirnu i počnu uzajamno gibati javlja se trenje i trošenje [2]. Ako bi se nekako eliminiralo trenje i trošenje značajno bi se smanjili utrošci energije potrebne za rad strojarских sustava te značajno produžio vijek trajanja elemenata strojeva. Međutim, bez trenja mi se ne bi mogli kretati ni po najmanjoj strmini, a bez trošenja ne bi mogli pisati grafitnom olovkom. Jednostavno, tribologija se bavi smanjenjem negativnih posljedica kod trenja i trošenja. U nekim situacijama je poželjno da se smanji trenje, a trošenje poveća ili da se smanji trošenje, a poveća trenje. Kod kočnog sustava bi bilo poželjno da se trenje poveća, a trošenje da se smanji.

2. Mehanizam trošenja koji se pojavljuje kod kočenja

Mehanizmi trošenja opisuju se jediničnim događajima. Jedinični događaj je slijed zbivanja koji dovodi do odvajanja jedne čestice trošenja s trošene površine. On uvijek uključuje proces nastajanja pukotina i proces napredovanja pukotina. Postoji neizmjereno velik broj slučajeva trošenja, ali usuglašena su četiri glavna mehanizma trošenja, abrazija, adhezija, umor površine i tribokorozija. Kod kočenja najviše prevladava adhezija, stoga će u ovom radu samo ona biti opisana.

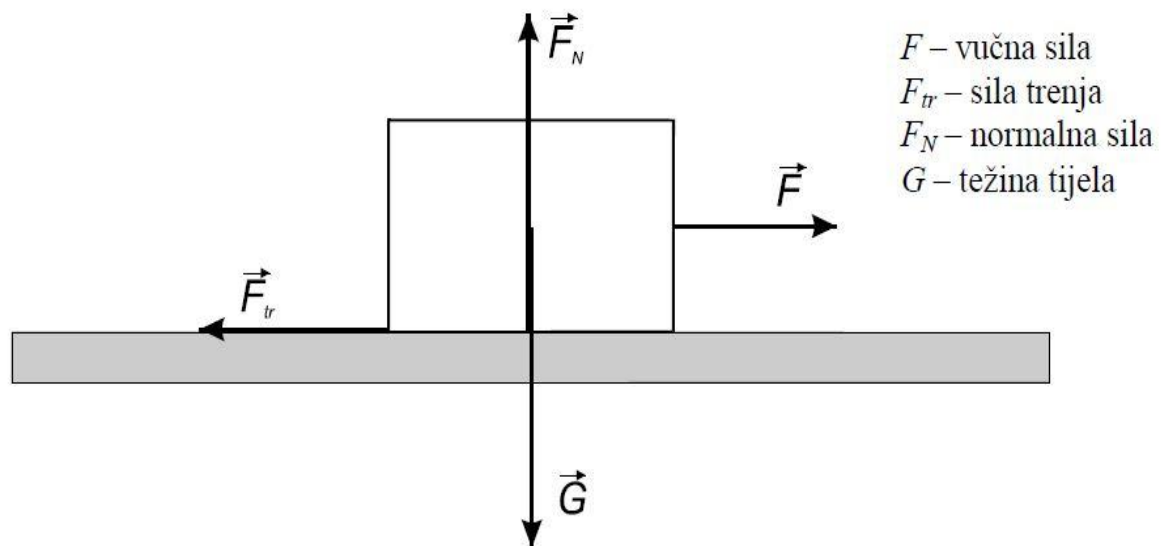
2.1. Trenje

Trenje je sila ili otpor koja se suprotstavlja relativnom kretanju krutih tijela u dodiru i djeluje s dodirnim površinama, a smjer joj je suprotan smjeru relativnog kretanja. U većini slučajeva, među pokretnim elementima strojeva, uređaja i postrojenja, trenje je nepoželjna i štetna pojava koju prate štetni gubici energije [3]. Međutim, kod kočnica je trenje korisno, njime se namjerno sustavu oduzima energija. Kao posljedica trenja na površinama u kontaktu dolazi do trošenja i zagrijavanja materijala, slika 1.



Slika 1. Disk i kočna obloga [4]

2.2. Fizika trenja



Slika 2. Djelovanje sile trenja [2]

Na slici 2. prikazano je djelovanje sile trenja, sila \vec{F} je vučna sila koja je potrebna da bi se tijelo pokrenulo, \vec{G} označava težinu tijela kojom ga Zemlja privlači, \vec{F}_N je normalna sila kojom podloga djeluje na tijelo, \vec{F}_{tr} je sila trenja i ona djeluje u smjeru suprotnom od gibanja tijela i opire se gibanju. Formula po kojoj računamo silu trenja je slijedeća :

$$F_{tr} = F_N \cdot \mu \quad (1)$$

F_{tr} - sila trenja

F_N - normalna sila

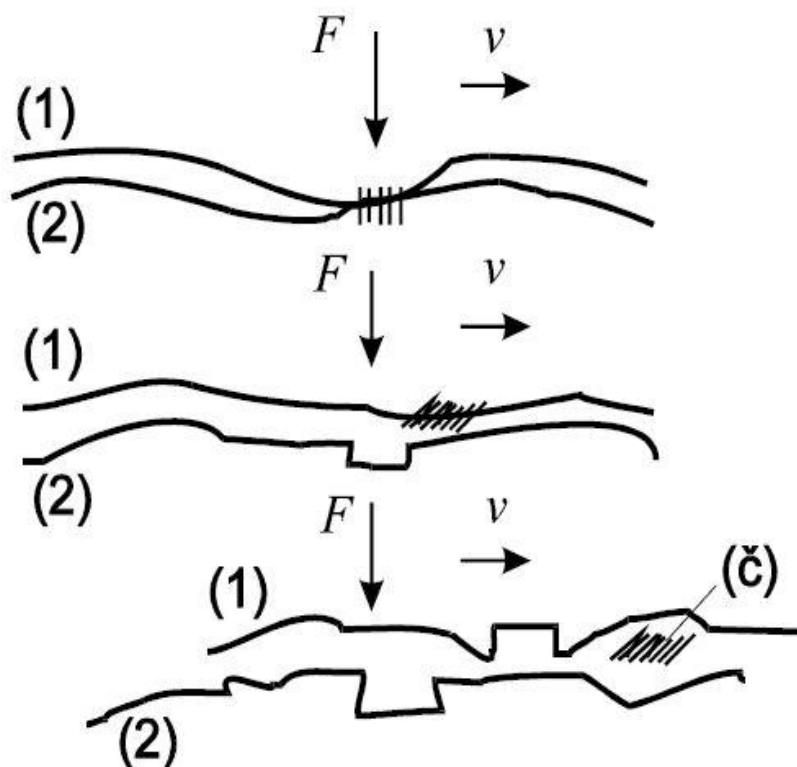
μ - koeficijent trenja

2.3. Trošenje

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticama [1]. U radu će se zbog kratkoće, ali i zbog toga što mehanizam trošenja koji prevladava u sustavu kočni disk – kočna obloga detaljno opisati adhezija.

2.4. Adhezija

Adhezija je mehanizam trošenja kojeg karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, a zbog procesa zavarivanja krutih faza. Jedinični događaj adhezije može se opisati u tri faze što je prikazano na slici 3.



Faza I - nastajanje adhezijskog spoja različitog stupnja jakosti na mjestu dodira izbočina

Faza II - raskidanje adhezijskog spoja, čestica trošenja ostaje spontano "nalijepljena" na jednom članu kliznog para

Faza III – eventualno otkidanje čestice, oblik čestica trošenja ovisi o uvjetima, a uglavnom je listićast

Slika 3. Jedinični događaj adhezije [1]

2.5. Otpornost na adhezijsko trošenje

Otpornost na adhezijsko trošenje ovisi o sklonosti stvaranju mikrozavarenih spojeva kliznog para i jakosti uspostavljenih adhezijskih veza [1]. Osnovni kriterij za ocjenu otpornosti na adhezijsko trošenje materijala tribopara je njihova tribološka kompatibilnost. Tribološka kompatibilnost je prikladnost za rad u kliznom paru i bolja je za materijale koji nisu skloni mikrozavarivanju u međusobnom dodiru. Suprotna je metalurškoj kompatibilnosti, odnosno uzajamnoj topljivosti metala u krutom stanju. Rabinowitz-ova karta tribološke kompatibilnosti prikazuje koliko su pojedini materijali kompatibilni sa drugim i koliko je jaka adhezija kod njih, slika 4. Karta je izvedena iz binarnih dijagrama stanja. Broj 4 označava najbolju kompatibilnost odnosno najslabiju adheziju i tako do broja 1 koji označava najlošiju kompatibilnost, a najjaču adheziju.

	W	Mo	Cr	Co	Ni	Fe	Nb	Pt	Zr	Ti	Cu	Au	Ag	Al	Zn	Mg	Cd	Sn	Pb
In				2	2				1	2	2	1	1	4	2	1	1	1	1
Pb	3	3	4	4	4	4	4	1	1	1	4	3	2	4	4	2	2	1	
Sn	2		4	2	2	3	2	1	2	1	2	1	1	3	2	3	1		
Cd			2	2	3	3		1	1	2	2	1	1	4	1	1			
Mg		2		2	3	3	3		1	3	1	1	1	1	2				
Zn		2	1	1	1	1	3	1	3	2	1	1	1	1					
Al	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1						
Ag	4	3	4	4	4	4	3	1	2	1	2	1							
Au	1	2	1	2	1	1		1	1	2	1								
Cu	3	4	4	1	1	2	3	1	1	2									
Ti	1	1	1	2	1	1	1	1	1										
Zr	2	1	2	1	2	3	1	2											
Pt	1	1	1	1	1	1	1												
Nb	1	1	1	1	1	1													
Fe	1	1	1	1	1														
Ni	1	1	1	1															
Co	1	1	1																
Cr	1	1																	
Mo	1																		

4 - dvije tekuće faze, rastvorljivost u krutom stanju manja od 0,1 %

3 - dvije tekuće faze, rastvorljivost u krutom stanju veća od 0,1 %, ili jedna tekuća

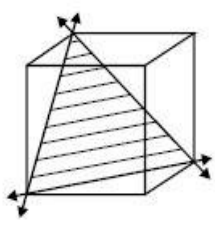
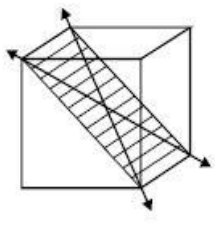
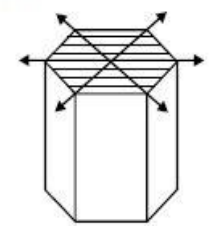
faza, rastvorljivost u krutom stanju manja od 0,1 %

2 - jedna tekuća faza, rastvorljivost u krutom stanju između 0,1 i 1 %

1 - jedna tekuća faza, rastvorljivost u krutom stanju preko 1 %

Slika 4. Rabinowitz-ova karta tribološke kompatibilnosti [1]

Kao što je prikazano na slici 5. broj kliznih sustava također utječe na tribološku kompatibilnost. Bolja kompatibilnost se javlja kod elemenata sa manjim brojem kliznih sustava, kao i sa određenom kristalnom rešetkom. Materijali sa HCP – HCP rešetkom imaju najbolju kompatibilnost dok oni sa FCC – FCC rešetkom imaju najlošiju tribološku kompatibilnost.

Rešetka	Element	Klizne ravnine	Klizni pravci	Broj kliznih sustava	Kompatibilnost
FCC 	Cu Al Ni Pb Au Ag γ Fe ...	4 {111}	3 $\langle 110 \rangle$	4*3 = 12	1
BCC 	W Mo α Fe ...	6 {110} ¹⁾	2 $\langle 111 \rangle$	6*2 = 12	2
HCP 	Cd Zn Mg Co ...	1 {0001}	3 $\langle 1120 \rangle$	1*3 = 3	4

Slika 5. Tribološka kompatibilnost na osnovi kristalne strukture [1]

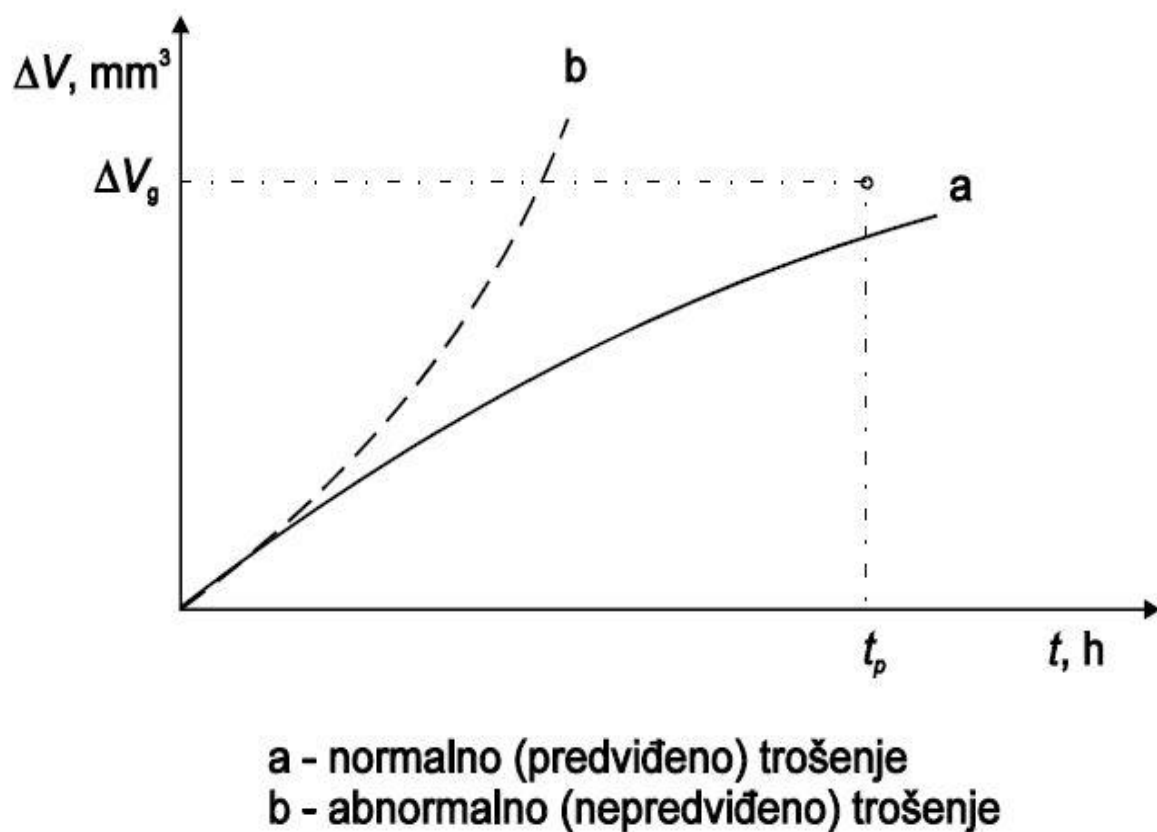
1 – najlošija kompatibilnost; FCC-FCC

2 – loša kompatibilnost; BCC-BCC, BCC-FCC

3 – najbolja kompatibilnost; HCP-HCP

Podacima sa slike 5. obuhvaćene su kristalne rešetke čistih metala i služe samo kao orijentacija tribološke kompatibilnosti. Za realni klizni par tribološka kompatibilnost se može utvrditi isključivo pokusima ili prethodno stečenim znanjem.

Zadatak tribologije je da se primjenom odgovarajućih triboloških mjera postigne da određeni tribosustav djeluje pretežno u režimu, tzv. normalnog trošenja, slika 6.



Slika 6. Opći oblik procesa trošenja [2]

3. Cilj rada

Glavni zadatak završnog rada bio je razvoj, konstrukcija i probni rad uređaja za ispitivanje trošenja obloga kočnica.

U Laboratoriju za tribologiju na FSB-u nije bilo uređaja za ispitivanje trošenja kočnih obloga pa je prof.dr.sc. Gojko Marić predložio da se takav uređaj izradi.

Nakon toga, javila se ideja za izradom jednostavnog uređaja na kojem bi se moglo provesti ispitivanje trošenja obloga kočnica.

4. Izrada uređaja za ispitivanje trošenja obloga kočnica

Ispitivanje trošenja potrebno je provesti na uređaju pogodnom za takvu vrstu ispitivanja. Laboratorij za tribologiju na FSB-u nije imao uređaj na kojem bi se ispitivanje moglo provesti pa se počelo sa pretraživanjem literature i Interneta.

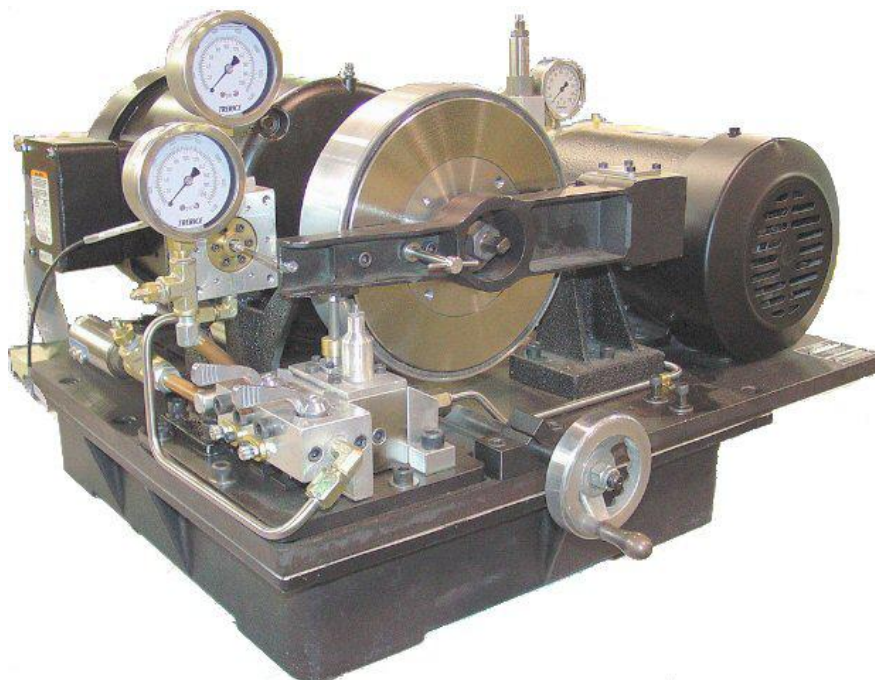
4.1. Proučavanje i pretraživanje da li postoji već takav ili sličan uređaj

U velikom broju knjiga, priručnika, internetskih adresa pronađeno je vrlo malo uređaja za utvrđivanje trošenja kočnih obloga. Pronađeno je nekoliko uređaja, a ovdje navodimo uređaj tvrtke „Link Engineering“. Tvrtka „Link Engineering“ napravila je uređaj kojim se ispituje trošenje kočnih obloga i lamelnih spojki, slika 7. Uređaj ima dva načina rada, sa konstantnom silom pritiskanja ili sa konstantnom silom trenja. Način rada sa konstantnom silom trenja pokazuje i promjenu temperature u ovisnosti o vremenu. Uređaj mjeri trošenje kočne obloge i bubnja ili diska, te potrebnu silu trenja u odnosu na teret u vozilu.

Tablica 1. Karakteristike uređaja

Pritisak pumpe	11 bar
Maksimalni pritisak pumpe	11 bar
Sila pritiskanja	700 N
Maksimalna sila trenja	7 N
Optimalna brzina	7 m/s
Snaga motora	0,7457 kW

U tablici 1 navedene su osnovne karakteristike uređaja. Uz navedene karakteristike uređaja postoji mogućnost nadogradnje infracrvenim pirometrom za mjerenje temperature, regulatorom brzine vrtnje (do 1000 min^{-1}) ili jačim motorom snage 1,118 kW.

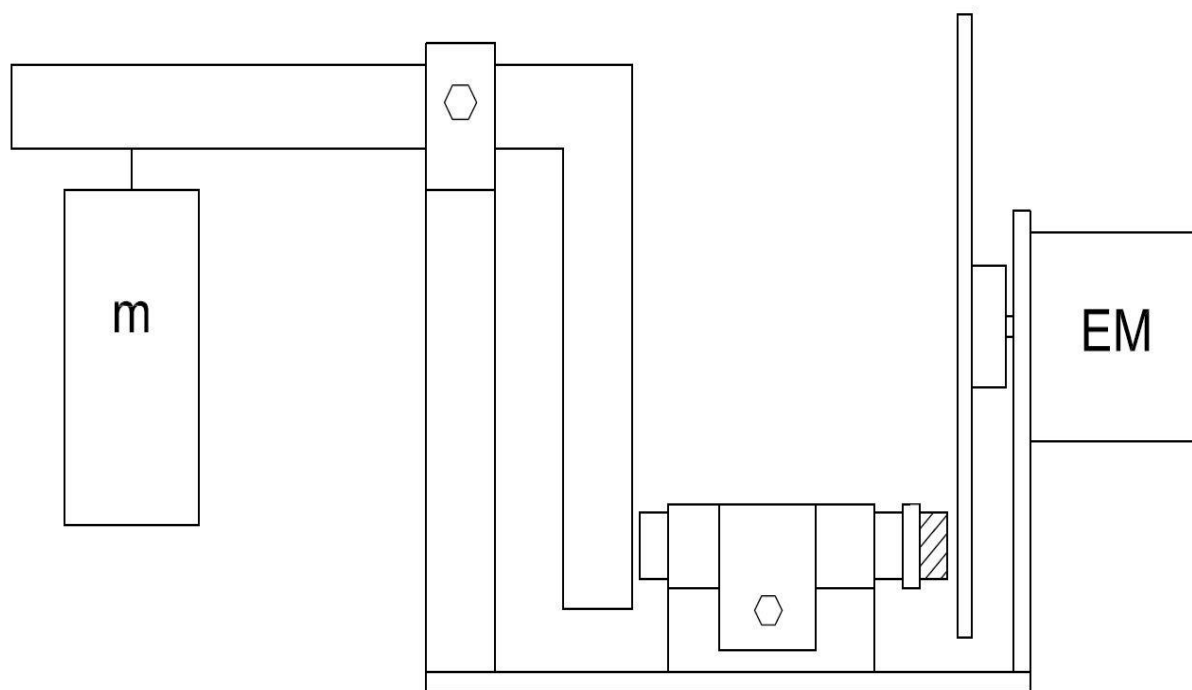


Slika 7. Proizvod tvrtke "Link Engineering" [5]

Obzirom na skupoću proizvoda tvrtke „Link Engineering“ i kratkog roka za izradu uređaja odlučeno je da će se napraviti mnogo jednostavnija inačica proizvoda prikazanog na slici 7.

4.2. Koraci u izradi uređaja za ispitivanje trošenja obloga

Nakon proučavanja literature i Interneta došlo je do ideje kako konstruirati takav uređaj. Skica zamišljenog uređaja prikazana je na slici 8. Uređaj je zamišljen tako da elektromotor (EM) pokreće disk koji je pomoću prirubnice spojen za njega. Uteg (m) preko sustava poluga konstantnom silom pritišće ispitni uzorak dimenzija 25x25 mm na disk.



Slika 8. Skica uređaja za ispitivanje trošenja kočnih obloga

Prvi korak u izradi uređaja bila je izrada polimerne prirubnice na tokarskom stroju koja će povezati elektromotor sa diskom, slika 9.



Slika 9. Izrada prirubnice na tokarskom stroju



Slika 10. Prirubnica povezana s elektromotorom i diskom (pogled straga)



Slika 11. Prirubnica povezana s elektromotorom i diskom (pogled sprijeda)

Slike 10. i 11. prikazuju disk pričvršćen za elektromotor. Disk za ispitivanje korišten je od motocikla, promjer diska je 190 mm i debljine 4 mm. Kao pogonska jedinica korišten je elektromotor sa vozila gdje mu je namjena bila pokretanje brisača.

Sljedeći korak u izradi uređaja je izrada nosača za elektromotor, izrada vodilice i nosača kočne obloge te izrada oslonca za sustav poluga. Počelo se sa bušenjem rupa na nosaču elektromotora, slika 12. Nosač elektromotora i vodilica spajani su tehnikom zavarivanja, slika 13. i 14.



Slika 12. Bušenje rupa na nosaču elektromotora



Slika 13. Zavarivanje nosača elektromotora i vodilice



Slika 14. Vodilica i nosač kočne obloge



Slika 15. Nosač elektromotora i vodilice te oslonac za polugu

Slika 15. prikazuje oslonac za sustav poluga preko koje će se pritiskati kočna obloga, nosač vodilice kočne obloge i nosač elektromotora.

Zadnji korak u izradi uređaja bio je napraviti polugu na koju će se objesiti uteg koji će pritiskati kočnu oblogu konstantnom silom.



Slika 16. Poluga preko koje se pritišće kočna obloga

Obzirom da su komponente potrebne za uređaj bile napravljene, ostalo je izrezati segmente kočnih obloga na dimenzije 25x25 mm. Izrezani uzorci bili su od različitih proizvođača, ali su namijenjeni za istu vrstu vozila, slika 17. Uzorci su rezani pomoću kutne brusilice, slika 18.



Slika 17. Kočna obloga



Slika 18. Rezanje uzoraka

Sljedeći korak bio je spajanje sastavnih dijelova uređaja i testiranje uređaja, slika 19.



Slika 19. Uređaj za ispitivanje kočnih obloga

Nakon provedenog testiranja uređaja, kao završni korak ostalo je obojiti uređaj i vijčano ga spojiti za drvenu podlogu, slika 20.



Slika 20. Konačna izvedba uređaja za ispitivanje trošenja kočnih obloga

4.3. Karakteristike i mogućnosti uređaja

Uređaj pokreće istosmjerni elektromotor koji radi na naponu od 12 V. Uteg mase 3,4 kg pritišće konstantnom silom preko poluge ispitni uzorak na rotirajući disk. Disk i kočna obloga u direktnom su dodiru tijekom kojeg dolazi do trošenja kočne obloge. Trošenje kočne obloge mjeri se gubitkom mase. Sila kojom uteg djeluje na polugu računa se prema izrazu (2):

$$F = m \cdot g \quad (2)$$

$$F = 3,4 \cdot 9,81 = 33,354 \text{ N}$$

Moment sile kojom se vrši pritisak kočne obloge na disk računa se prema izrazu (3) :

$$M = F \cdot r \quad (3)$$

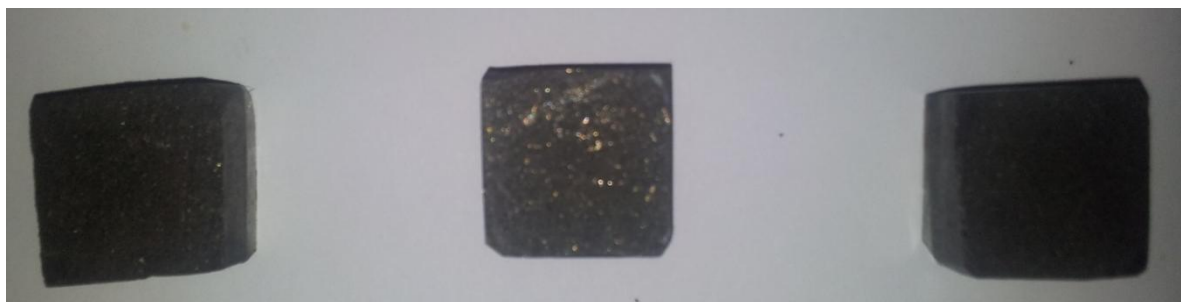
Gdje \vec{M} označava moment sile, \vec{F} silu, a \vec{r} udaljenost pravca djelovanja sile od osi rotacije odnosno od oslonca.

$$M = 33,354 \cdot 0,35 = 11,6739 \text{ Nm}$$

Zbog kratkog roka izrade uređaja na njemu se trenutno može ispitivati trošenje kočnih obloga gubitkom mase. Prednost je što se mogu mjeriti kočne obloge različitih vrsta i oblika, samo je važno da ispitni uzorci budu dimenzija 25x25 mm. Ostavljena je mogućnost daljnje nadogradnje uređaja pa bi se u budućnosti mogla mjeriti sila trenja ili promjena temperature diska i kočne obloge tijekom ispitivanja.

5. Eksperimentalni dio

Eksperimentalni dio proveden je na tri uzorka, slika 21., tako da se masa svakog uzorka izmjerila prije ispitivanja, nakon 2 minute ispitivanja, zatim nakon 5 minuta i na kraju nakon 10 minuta ispitivanja. Masa uzoraka mjerila se sa preciznošću od 10^{-4} grama na preciznoj vagi u Laboratoriju za tribologiju FSB-a, slika 22. Uzorci su bili od različitih proizvođača, ali namijenjeni za isti model vozila.



Slika 21. Uzorci na kojima je provedeno ispitivanje



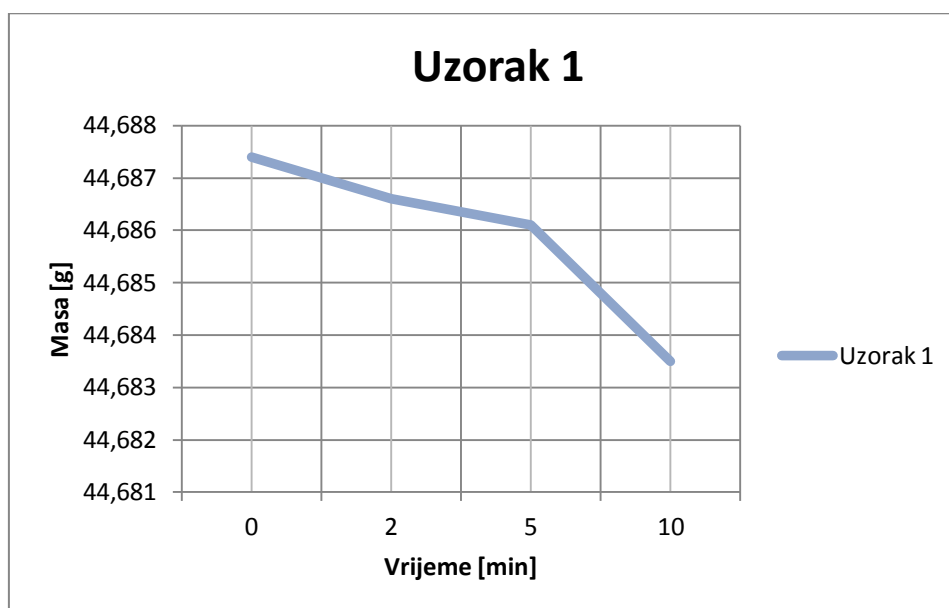
Slika 22. Precizna vaga za mjerenje mase uzoraka

U tablici 2 prikazani su rezultati dobiveni nakon provedenog ispitivanja trošenja. Dobiveni rezultati nisu po normama i kao takvi ne mogu se upotrijebiti u znanstvene svrhe, već nam služe da se vidi trošenje kočnih obloga pod ovim uvjetima ispitivanja.

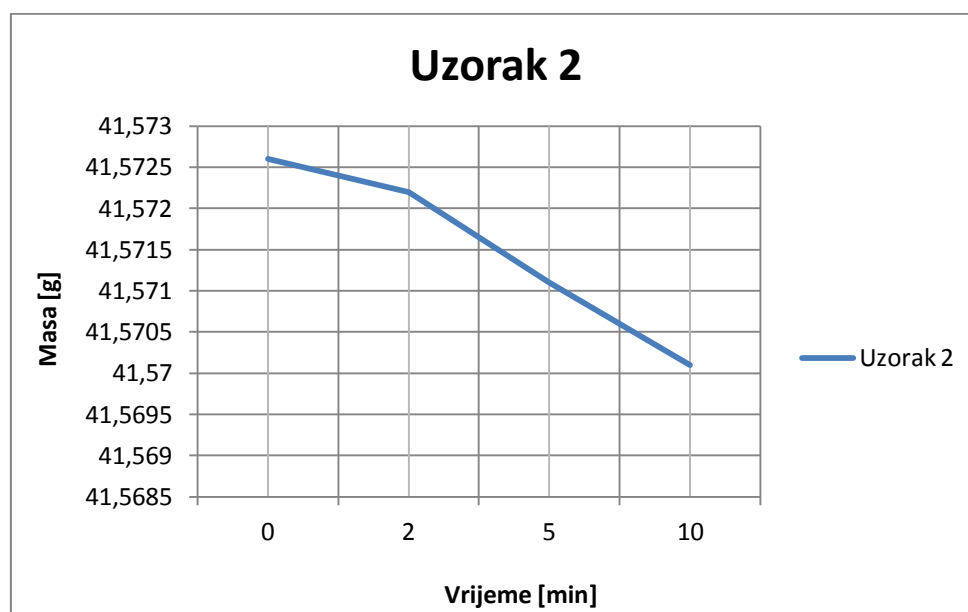
Tablica 2. Rezultati nakon ispitivanja trošenja kočnih obloga

Trajanje ispitivanja [min]	Uzorak 1 [g]	Gubitak mase uzorka 1		Uzorak 2 [g]	Gubitak mase uzorka 2		Uzorak 3 [g]	Gubitak mase uzorka 3	
		[g]	[%]		[g]	[%]		[g]	[%]
Prije ispitivanja	44,6874	-		41,5726	-		40,2771	-	
2	44,6866	0,0008	0,00179	41,5722	0,0004	0,00096	40,2767	0,0004	0,00099
5	44,6861	0,0005	0,00112	41,5711	0,0011	0,00265	40,2751	0,0016	0,00397
10	44,6835	0,0026	0,00581	41,5701	0,0010	0,00241	40,2739	0,0012	0,00298
Ukupno	-	0,0039	0,00872	-	0,0025	0,00602	-	0,0032	0,00794

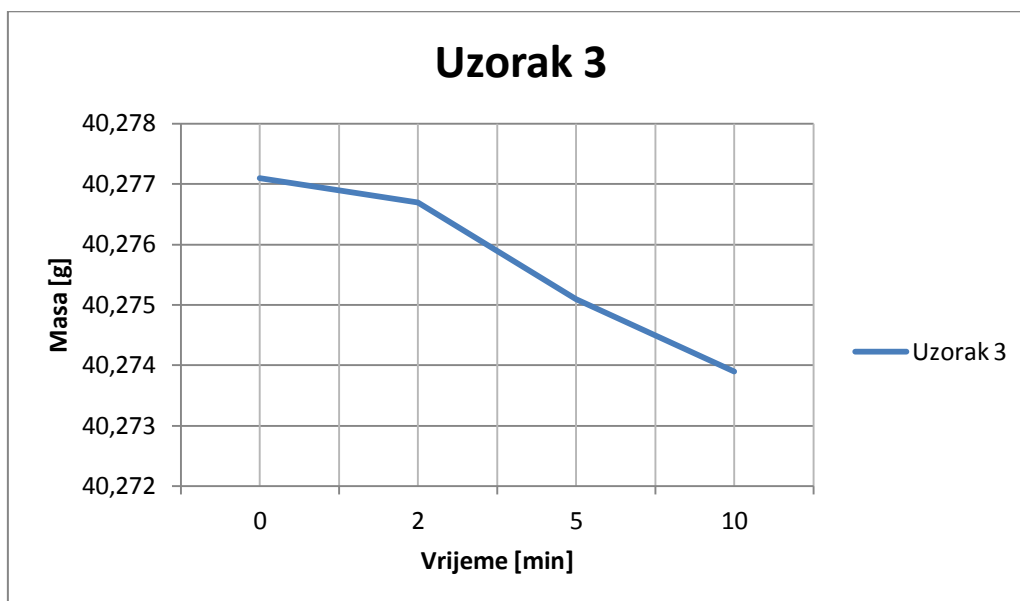
Primjetan je gubitak mase na svakome od 3 uzorka, slika 23. – 26. Uzorak 1 izgubio je 0,00179% početne mase što je najveći gubitak nakon 2 minute ispitivanja, dok su u istom razdoblju uzorak 2 i 3 izgubili 0,00096 %, odnosno 0,00099 %. Nakon 5 minuta ispitivanja uzorak 3 izgubio je 0,00397 % što je najveći gubitak mase u tom intervalu ispitivanja, dok je uzorak 1 u istom intervalu ispitivanja izgubio 0,00112 % mase. Kod mjerenja mase nakon 10 minuta ispitivanja uzorak 1 izgubio je 0,00581 %, a uzorak 2 i 3 izgubili su skoro dvostruko manje, 0,00241 % i 0,00298 %. Konačni rezultati mjerenja su slijedeći, uzorak 1 izgubio je najveći postotak mase u iznosu od 0,00872 %, a uzorak 2 izgubio je najmanje mase i to 0,00602 % što znači da se uzorak 2 pokazao najboljim pod ovim uvjetima ispitivanja.

**Slika 23. Dijagram smanjenja mase uzorka 1**

Na slici 23. vidljiv je gotovo linearni gubitak mase uzorka 1 nakon 5 minuta ispitivanja, dok u intervalu od 5 do 10 minuta dolazi do naglijeg gubitka mase uzorka.

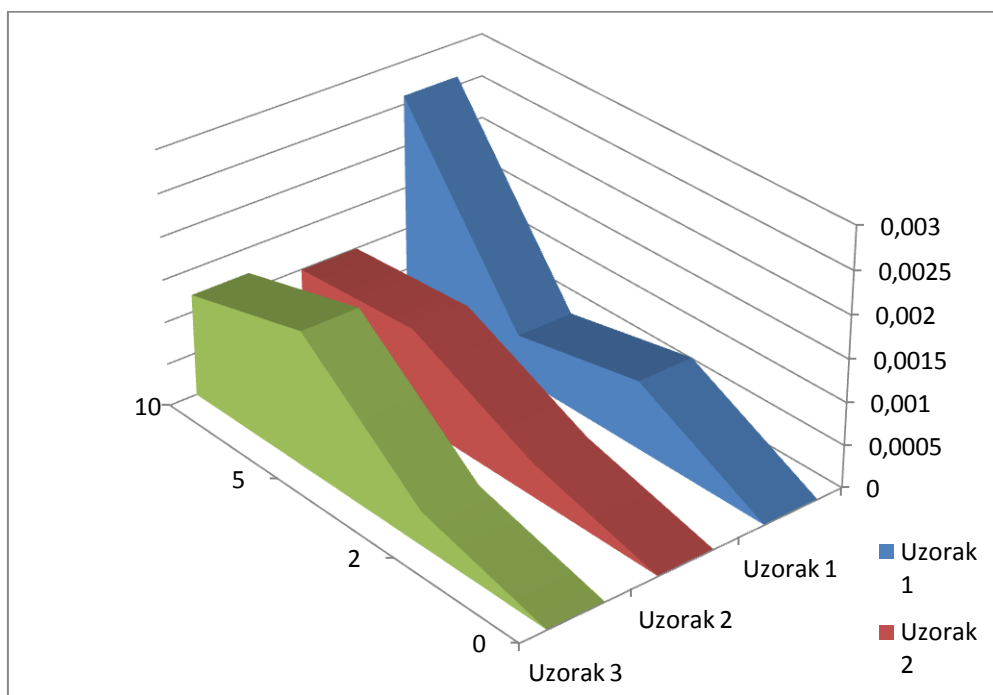
**Slika 24. Dijagram smanjenja mase uzorka 2**

Kod uzorka 2 vidi se blagi gubitak mase uzorka poslije 2 minute provedenog ispitivanja, a nakon toga dolazi do intenzivnijeg gubitka mase uzorka, slika 24.



Slika 25. Dijagram gubitka mase uzorka 3

Na slici 25. vidi se gubitak mase uzorka 3 tijekom ispitivanja u trajanju od 10 minuta. Intenzivniji gubitak mase vidljiv je nakon druge minute ispitivanja, dok je prije toga gubitak bio jako mali.



Slika 26. Paralelni prikaz gubitka mase kod svih uzoraka

6. Zaključak

Izrađeni uređaj za ispitivanje trošenja kočnih obloga bazira se na mjerenju gubitka mase ispitnih uzoraka. Mjerenje gubitka mase jedan je od osnovnih parametara triboloških mjerenja. Važno je napomenuti da provedeno ispitivanje i dobiveni rezultati ispitivanja nisu po normama. Dobiveni rezultati mogu se međusobno usporediti i na temelju toga zaključiti koji ispitni uzorak se pokazao najboljim, odnosno koji je izgubio najmanje mase pod ovim uvjetima ispitivanja. Ispitni uzorak 2 je u tim uvjetima ispitivanja izgubio najmanje mase čime se pokazao najboljim.

Prednosti ovog uređaju su laka prenosivost i mjerenje trošenja kočnih obloga različitih oblika i veličina. Ispitne epruvete moraju biti dimenzija 25x25 mm. Kada bi se mjerilo trošenje kočnih obloga originalnih oblika i veličina bilo bi potrebno imati veliki broj nosača kočnih obloga.

Prilikom konstruiranja uređaja ostavljena je mogućnost za daljnju nadogradnju. Jedna od nadogradnji je mogućnost mjerenja promjene temperature kod tribopara disk – kočna obloga prilikom kočenja. Dodatne mogućnosti nadogradnje su mjerenje sile trenja tijekom kočenja ili automatizacija cijelog uređaja za ispitivanje trošenja.

LITERATURA

- [1] Grilec K., Ivušić V.: Tribologija – skripta, autorizirana predavanja, Zagreb, 2011.
- [2] Ashby M., Shercliff H., Cebon D.: Materials – Engineering, Science, Processing and Design; Butterworth-Heinemann, 2007.
- [3] Zgaga R.: Tribologija, nova znanstvena disciplina u znanosti i tehnici, Strojarsvo XVII, 1975.
- [4] Red hot brake disc, http://theprovincialscientist.com/?attachment_id=405
- [5] FAST Machine,
<http://www.linkeng.com/en/ProductsAndServices/TestSystems/BrakeAndFriction/FrictionCharacterizationSystems.aspx>

PRILOZI

I. CD – R disc